

学校编码: 10384
学号: 23320081153317

分类号____密级____
UDC____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

SAR 图像自动目标识别研究

The Study on Automatic Target Recognition Technology for
SAR Image

指导教师姓名: 刘艳华 讲 师

专 业 名 称: 信号与信息处理

论文提交日期: 2011 年 月

论文答辩时间: 2011 年 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: _____

评阅人: _____

2011 年 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

面对复杂的 SAR(Synthetic Aperture Radar)图像数据, 如何对图像中的目标进行快速、准确地自动识别已经越来越引起人们的关注和重视。如何去除相干斑噪声对 SAR 图像的影响, 提取出能很好的表征 SAR 图像各种特性的特征向量进行分类识别, 成为了研究的重点。结合 SAR 图像的特点, 本文对 SAR 图像自动目标识别系统中的各项关键算法做了深入研究。

在 SAR 图像预处理方面, 本文就超小波去噪算法在 SAR 图像去噪领域的应用做了详细论述; 改进了一种新的基于 Grabcut 的 SAR 图像自动分割技术, 所分割出来的 ROI 切片轮廓清晰、完整, 没有小斑点干扰, 且具有良好的鲁棒性; 在图像配准方面, 提出了一种新的基于特征点对互信息准则的 SAR 图像配准方法, 计算量小, 配准精度高, 结果图像接缝平滑且过渡均匀。

在特征提取方面, 提出了新的 HGF(Hu、Gabor、FFT)融合特征提取方法及基于 Beamlet 变换的特征提取方法两种新算法。首先, 利用融合特征能体现 SAR 图像多种特性的优势, 提出了能充分表征图像灰度、纹理、结构等特征的 HGF 特征向量, 实验表明该特征向量提取方法简单、实时性强、分类效果好; 其次, 本文创新性的将 Beamlet 变换应用到 SAR 图像自适应目标识别中, 利用 Beamlet 变换能很好的提取图像线特征的优势, 构建出基于 Beamlet 变换及 BD-RDP 算法的特征向量, 实验结果表明该方法分类效果良好, 平均识别率为 95.83%。

最后, 在本文提出的改进的基于 Grabcut 的 SAR 图像自动分割技术、HGF 特征及支持向量机(Support Vector Machine)分类器的基础上, 搭建了一个简单的 SAR 图像目标自动识别软件系统。实验结果表明, 本系统的平均识别率为 93.18%, 平均虚警率仅为 3.4%, 有效的避免了某类目标虚警率过高的问题; 同时, 从输入图像到最后输出识别结果, 整体平均用时为 2.829 秒, 体现了良好的实时性。

实验结果表明, 本文改进的基于 Grabcut 的 SAR 图像目标自动分割方法有着很好的鲁棒性; 而 HGF 特征则很好的兼顾了实时性及识别率的要求; 基于 Beamlet 变换的 SAR 图像识别方法在识别率方面有着良好的表现。本文在此基础上构建的 SAR 图像自动目标识别系统也有着良好的性能, 经过一定的完善之后可以进行实际的应用。

关键词: 图像目标识别; 特征提取; 融合特征; Beamlet; 识别系统

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Recently, SAR (Synthetic Aperture Radar) is evolving to become an indispensable tool for earth observation and military reconnaissance. In response to the complex data for SAR image, it causes the people to value more and more how to recognize the aim from these images rapidly and accurately. The primary works to build SAR ATR(Automatic Target Recognition) is develop the feasible way to eliminate the spenkle noise and extract the feature which can distinguish the SAR image targets efficiently. In this disseriation the key orgerithms used in SAR ATR system are deeply researched.

In pre-processing field, the denoising motheds based on curvelet and Bandlet are presented; and a modified automatic segmentation method for SAR image is also developed. And a novel SAR image registration method based on criteria of feature point pair mutual information is putted forward.

In feature extraction field, two new SAR image feature extraction methods are proposed. Firstly, the disseriation develop a new fusion feature based on Hu Moment Invariants, Gabor transform and FFT. This new fusion feature uses the multiple characteristics of SAR image such as gray characteristic, texture characteristic and structure characteristic, and this fusion feature has a good performance in real time ability and classification. Secondly, in this disseriation the Beamlet transform is innovative used in the SAR ATR aspect. A new feature vector has been extracted by using Beamlet transform and BD-RDP algorithm; the experiment results show thar the new feature vector does a good job on SAR image target recognition, the average recognition rate is 95.83%.

Finally, the disseriation build a SAR image ATR system by using the modified automatic segmentation method, the HGF feature vector and SVM (support vector machine). The average recognition rate is 93.18%, and the false-alarm rate is 3.4%, the result shows that the system gets a nice performance in SAR image ATR. The running time of the system is 283 ms (including the training time of the SVM

classifier), it proves that the system can process the SAR image in real-time.

Conclusively, the methods mentioned above all have good performance. The modified automatic segmentation method for SAR image is a robust method; the HGF feature has good action in both real time property and recognition rate; the new SAR image target recognition method based on Beamlet can reach a high recognition rate. And the SAR ATR software system realized in this dissertation has a good performance; it can be used in practical after some certain modified.

Keywords: Image Target Recognition; Feature Extract; Feature Fusion; Beamlet; Recognition System.

目 录

第一章 绪论	1
1.1 SAR 图像识别研究背景及意义	1
1.2 SAR 图像识别的研究现状	2
1.3 本文研究内容	4
1.3.1 SAR ATR 框图	4
1.3.2 论文主要研究内容	6
第二章 SAR 图像预处理方法	8
2.1 SAR 图像噪声特性	8
2.2 SAR 图像去噪方法	10
2.2.1 常用空间域滤波方法	10
2.2.2 基于模型及统计量的滤波方法	12
2.2.3 基于 Curvelet 的 SAR 图像去噪算法	13
2.2.4 基于 Bandlet 的去噪算法	15
2.3 SAR 图像分割方法	18
2.3.1 CFAR 分割技术	18
2.3.2 MRF 分割技术	20
2.3.3 SAR 图像的 Grabcut 分割	22
2.3.4 改进的基于 Grabcut 的 SAR 图像自动分割算法	27
第三章 SAR 图像配准技术研究	32
3.1 基于小波多尺度积的边缘特征点的提取	33
3.2 基于特征点对互信息的图像配准方法	34
3.2.1 互信息在图像中的表示	34
3.2.2 互信息方法的特性分析	35
3.2.3 图像变换关系的确定	37
3.3 算法流程及实验分析	38
第四章 基于融合特征的 SAR 图像目标识别	43
4.1 引言	43

4.2 Hu 不变矩特征提取	44
4.3 FFT 变换特征	47
4.3.1 傅里叶变换	47
4.3.2 FFT 变换	48
4.3.3 SAR 图像的 FFT 特征	49
4.4 Gabor 小波特征	50
4.5 融合特征向量	53
第五章 基于 Beamlet 的 SAR 图像目标识别	55
5.1 Beamlet 基本理论分析	55
5.2 基于 Beamlet 变换的常用算法	58
5.2.1 无结构阈值处理算法	58
5.2.2 树结构算法	60
5.2.3 基于 Beamlet 图结构的算法	60
5.3 Beamlet 用于 SAR 图像识别	61
第六章 SAR 图像目标自动识别系统实现	65
6.1 系统设计简介	65
6.2 系统框架及算法流程	66
6.2.1 系统框架	66
6.2.2 算法流程	68
6.3 实际系统界面及实验结果	70
第七章 总结及展望	75
7.1 总结及创新点	75
7.2 未来研究方向	76
参考文献	78
致 谢	82
攻读硕士学位期间发表的学术论文及参与科研项目	83

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Background and The Significance of Research.....	1
1.2 Research Status of SAR ATR Technology.....	2
1.3 Main Contents of Paper.....	4
1.3.1 The Framework of SAR ATR System.....	4
1.3.2 The Framework of Paper	6
Chapter 2 Pre-processing Methods for SAR Image	8
2.1 Property of SAR Image Noise.....	8
2.2 Denoising Methods for SAR Image.....	10
2.2.1 The Denoising Methods in Space Domain	10
2.2.2 The Denoising Methods Based on Models and Statistics	12
2.2.3 The Denoising Methods Based on Curvelet	13
2.2.4 The Denoising Methods Based on Bandlet.....	15
2.3 Segment Methods for SAR Image.....	18
2.3.1 Segment Methods Based on CFAR.....	18
2.3.2 Segment Methods Based on MRF	20
2.3.3 The Grabcut Segment Method	22
2.3.4 An Improved SAR Image Auto-segment Method Based on Grabcut...	27
Chapter 3 The Registration Methods for SAR Image.....	32
3.1 Edge Feature Points Extraction Based on Wavelet Multi-scale Product ...	33
3.2 Image Registration Method Based on FPPMI	34
3.2.1 The Denotation of Mutual Information in Images.....	34
3.2.2 The Analysis of Mutual Information Method	35
3.2.3 Determine The Transform Relationship According to The Matching Point Pairs	37
3.3 The Flow Chart and The Analysis of Experimental Results.....	38
Chapter 4 The SAR Image Target Recognition Technology Based on Fusion Feature.....	43
4.1 Introduction.....	43

4.2 The Extraction of Hu Moment.....	44
4.3 FFT Feature.....	47
4.3.1 Fourier Transform	47
4.3.2 FFT Transform	48
4.3.3 The FFT Feature of SAR Image	49
4.4 The Gabor Feature.....	50
4.5 The Fusion Feature	53
Chapter 5 The SAR Image Target Recogniton Technology Based on Beamlet.....	55
5.1 Beamlet Theory	55
5.2 The Algorithms Based on Beamlet Transform	58
5.2.1 Structureless Algorithms	58
5.2.2 Tree-Structured Algorithms	60
5.2.3 The Algorithms Based on Beamlet Graph	60
5.3 Beamlet Used in SAR Image Target Recognition.....	61
Chapter 6 The Implementation of SAR Image ATR System	65
6.1 Introduction.....	65
6.2 System Frame and The Flow Chart	66
6.2.1 System Frame.....	66
6.2.2 Flow Chart	68
6.3 System Interface and The Experimental Results	70
Chapter 7 Summary and Outlook	75
7.1 Summary and Innovation Points.....	75
7.2 Further Research Directions.....	76
References	78
Acknowledgements	82
Research Works and Published Papers	83

第一章 绪论

合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)作为一种高灵敏、高分辨率的微波成像技术,在 1951 年由美国 Goodyear 航空公司的 Carl Wiley 首次提出。作为一种优良的远距离对地观测方法, SAR 具有高分辨率、全天候、强透射等优点,在遥感、军事、水文、地矿等领域有着广泛的应用,得到了迅猛的发展[1-5]。

1.1 SAR 图像识别研究背景及意义

合成孔径雷达是一种高分辨率的二维相干成像雷达,与传统的可见光、红外遥感相比,合成孔径雷达具有全天候、全天时、方位敏感性小及能穿透一些地物的成像特点^[6-7]。同时由于其后向散射成像特性, SAR 图像又含有大量的相干斑噪声的影响,与传统的图像处理研究类似^[8-9], SAR 图像处理的研究内容也涉及到去噪、分割、融合、压缩、增强、识别及分类等多个方面。随着现代技术的发展,在电子化战场上仅能得到目标位置的检测技术已然无法满足人们的需求,根据各种信号判定目标的类别、属性或者型号变得日益重要,同时,智能化的发展趋势对于自动处理的要求也凸现出来。

SAR 在遥感领域具有独特的对地观测优势, SAR ATR 技术便成为了遥感领域的研究重点之一。针对 SAR 图像的后向散射特性及相干斑噪声干扰等特点,多种 SAR 图像的目标检测及识别技术已被开发出来,但目前为止并没有一个通用的办法。为了避免相干斑噪声的干扰,在分类识别前,一般都会对 SAR 图像进行预处理操作如去噪、分割等。但是 SAR 图像的预处理操作在凸显目标物的同时,也造成了目标边缘轮廓的模糊,因此,如何绕过前期处理直接进行目标识别也是一个十分值得研究的问题。

随着 SAR 成像技术及处理技术的不断成熟, SAR 图像在民用领域及军用领域的应用越来越广。在民用领域,对农林、海洋的监测与研究^[10-11];自然灾害的预防及灾情报告^[12];森林分类、地形地貌分类^[13]和桥梁道路的识别^[14-15]等方面都有 SAR 图像目标识别的应用身影。在军用领域, SAR 图像识别技术的应

用主要是发现和识别军事目标，如机场、飞机、坦克、装甲车，舰船、导弹与卫星的识别、弹头与运载火箭的分辨等。

1.2 SAR 图像识别的研究现状

由于 SAR ATR 所具有的重大应用价值，各个国家都对能在没有人工直接干预的条件下，在较短的时间内从场景中自动检测出可能的目标并识别出目标所属类别的 SAR ATR 技术进行了大量的研究，其中美国的研究更是处于国际领先地位。在以往的研究中，形成了许多优秀的 SAR ATR 系统。

(1) 美国陆军实验室(America Army Laboratory, ARL)的 SAR ATR 系统^[16]

该系统可分为检测、减少虚警及分类识别三个部分。首先，利用恒虚警率(Constant False Alarm Rate, CFAR)检测器对整幅图像中可能的目标进行定位，通过散射点检测技术，定位出可能目标物的位置；然后，采用二值相关算法，利用模板从杂波中检测目标，降低虚警的产生；最后，通过模板匹配技术进行目标的分类识别。

(2) 美国麻省理工学院林肯实验室基于模板的 SAR ATR 系统

同样，该系统包含预处理、辨识、分类识别三个部分。在预处理阶段，采用双参数 CFAR 技术来定位可能的目标位置；然后，利用纹理特征来检测该物体是目标的可能性；最后，用灰度卷积算法对图片进行卷积运算，并进行模板匹配分类。

(3) 美国运动和静止目标获取与识别(Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition, MSTAR)计划的基于模型的 SARATR 系统

该系统包含四个部分：预测、特征抽取、匹配和搜索。该系统首先使用 FOA(Focus of Attention)模块来定位候选的感兴趣目标，然后进行特征提取，在搜索精确匹配之前，为了减小匹配空间大小，先采用一个成本较低的匹配器进行匹配，得到一个可能匹配的列表即索引到搜索空间的一个子集。然后进行搜索，以找到候选目标的一个合适匹配^[17]。

MSTAR 工作组还提供了大量的用于实测的聚束式 SAR 地面静止图像数据，分辨率为 $0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ ^[18]，其图片大小为 128×128 像素。其推荐的训练测试数据集中共包含三类目标，即装甲运兵车 BMP2、装甲运兵车 BTR70 及主战坦克

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库